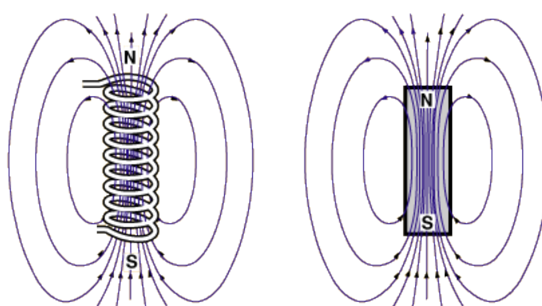
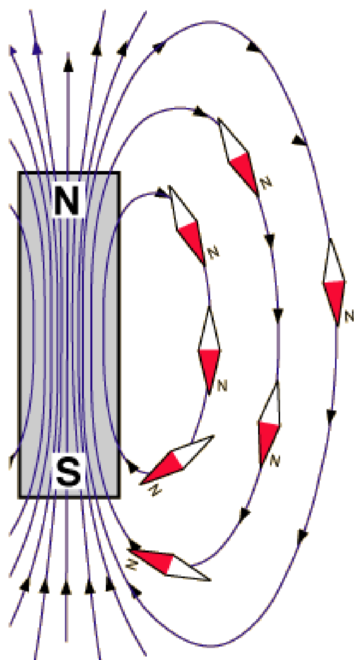
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Exatas
Departamento de Física

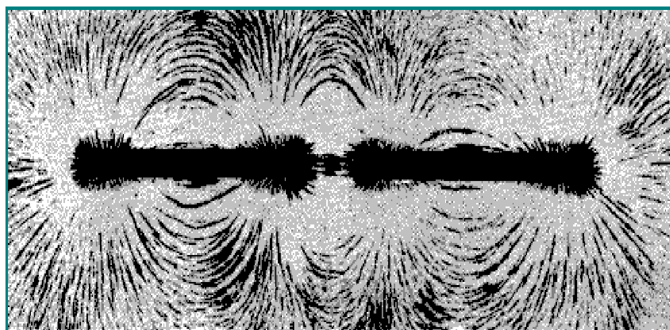
Física III – Prof. Dr. Ricardo Luiz Viana

Aula 31 – Imãs permanentes



Lembrete: o campo magnético de um imã permanente é semelhante ao de um pequeno solenóide – as linhas de força (que são sempre fechadas) parecem sair do pólo Norte e parecem entrar no pólo Sul do imã.





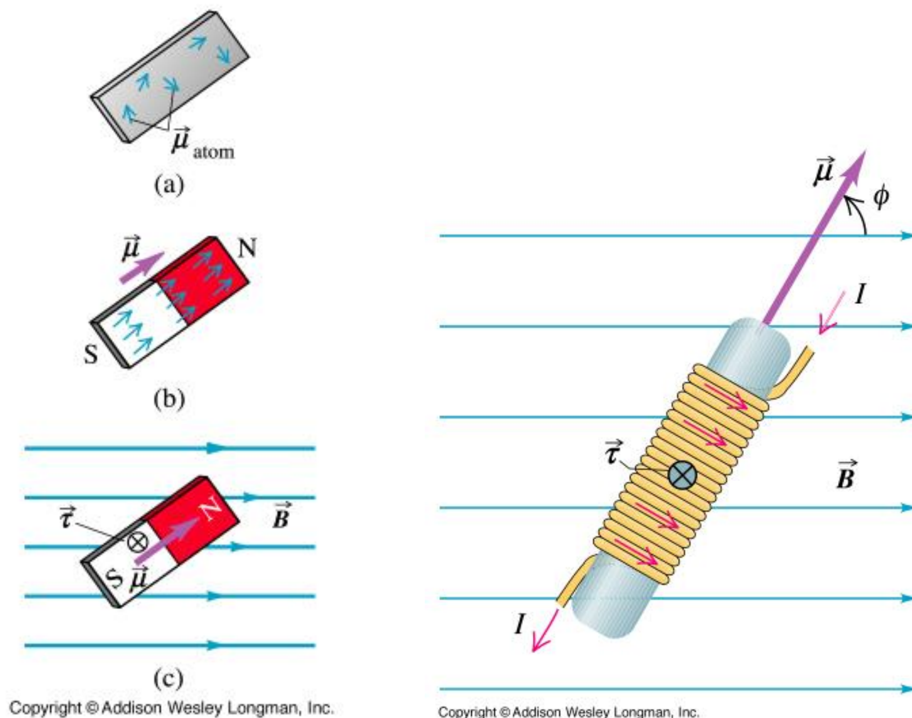
Torque magnético sobre um imã: quando um imã permanente (como por exemplo a agulha de uma bússola) é colocado num campo magnético **B,** a tendência do imã é a de se orientar de modo que o pólo Norte aponte na direção de **B**. Esse efeito ocorre também com limalhas de ferro não-magnetizadas, que, porém, se magnetizam na presença de um campo magnético **B**. Os pólos de um imã sofrem a ação de um binário de forças magnéticas: há uma força **F** sobre o pólo Norte, na direção de **B**; e uma força igual porém oposta **-F** sobre o pólo Sul. Esse binário provoca um torque magnético, como vimos para o caso de uma espira de corrente. De fato, uma pequena barra

imantada atua como se fosse uma espira de corrente, e está também associada a um momento de dipolo magnético **μ**.

Intensidade de pólo magnético de um imã q_M: seja $\mathbf{F_M}$ a força exercida sobre um pólo de um imã imerso num campo magnético **B**. Então

$$F_M = q_M B$$

Unidade no S.I.: $[q_M] = [F_M]/[B] = N / T$
Convenção de sinal: q_M será positiva se for Pólo Norte, e negativa se for Pólo Sul



Momento magnético de uma barra imantada: seja L o vetor que vai do pólo Sul para o pólo Norte de uma pequena barra imantada. Então

$$\mu = | q_M | L$$

O torque magnético sobre uma barra imantada imersa num campo magnético B também será dado pela fórmula $\tau = \mu \times B$

Problema resolvido: Uma pequena barra imantada de 8,5 cm de comprimento e intensidade de pólo magnético 25 N/T está sobre o eixo x num campo magnético uniforme **B** = (1,5 T) **i** + (2,5 T) **j** + (1,6 T) **k**. Ache: (a) a força magnética sobre cada pólo do imã; (b) o momento magnético da barra; (c) o torque magnético sobre o imã.
Solução: (a) $\mathbf{F_M} = q_M \mathbf{B}$ = 25 x (1,5 **i** + 2,5 **j** + 1,6 **k**) = 37,5 **i** + 62,5 **j** + 40 **k** sobre o Pólo Norte, e - $\mathbf{F_M}$ sobre o Pólo Sul (pois, nesse caso, q_M será negativo);

(b) **L** = (0,085 m) **i**, pois a barra está sobre o eixo x, supondo-se que o Pólo Sul esteja à esquerda do Pólo Norte

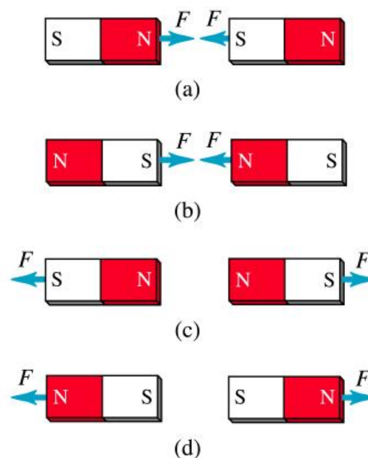
$$\mu = |q_M| L = 25x0{,}085i = 2{,}125i$$

$$\tau = \mu \times B = \begin{vmatrix} 2{,}125 & 0 & 0 \\ 1{,}5 & 2{,}5 & 1{,}6 \\ i & j & k \end{vmatrix} = 2{,}125x2{,}5k - 2{,}125x1{,}6j =$$

(c) $= -(3{,}40N.m)j + (5{,}31N.m)k$

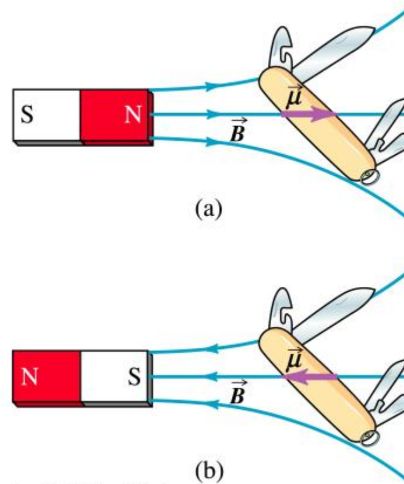
Problema proposto: Um pequeno imã linear de 6,8 cm está fazendo um ângulo de 60° com a direção de um campo magnético uniforme de 0,04 T. O torque observado é 0,10 N.m. (a) Achar o momento magnético do imã; (b) Achar a intensidade dos pólos do imã; (c) Achar a força magnética sobre os pólos do imã. Respostas: (a) 2,89 A.m^2; (b) 42,45 N/T; (c) 1,7 N.

Pólos de mesmos nomes se repelem, e pólos de nomes opostos se atraem:

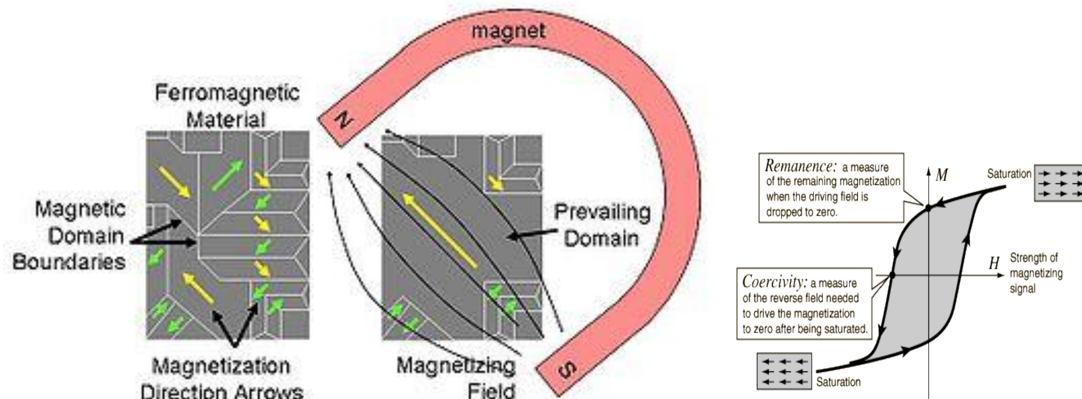


Porquê um imã atrai objetos de ferro? O campo magnético produzido nas vizinhanças dos pólos de um imã é não-uniforme (as linhas de força são curvas e vão se separando a medida em que nos afastamos dos pólos). Um objeto de ferro é magnetizado quando está sob a ação de um campo magnético externo, portanto ele próprio torna-se um outro imã, com seus pólos Norte e Sul. Consequentemente, o objeto adquire um momento de dipolo magnético.

Cada pólo do objeto sofre a ação de uma força diferente em módulo, pois o campo magnético é diferente em cada pólo. Logo não temos mais um binário, e há uma força resultante de atração (para pólos diferentes) ou repulsão (para pólos iguais).



Como se faz um imã? Num objeto de ferro (ou outro material ferromagnético) os momentos de dipolo magnético nos domínios apontam na mesma direção. Mas como os domínios estão aleatoriamente distribuídos, o campo magnético resultante é pequeno ou mesmo quase nulo. No entanto, imergindo o objeto num campo magnético, os momentos de dipolo sofrem torques magnéticos e tendem a se alinhar com o campo externo, empurrando as paredes de domínio e levando a uma magnetização líquida. Mesmo com campo externo nulo, vimos na aula passada que há uma magnetização residual ("remanência"), levando a um imã permanente.



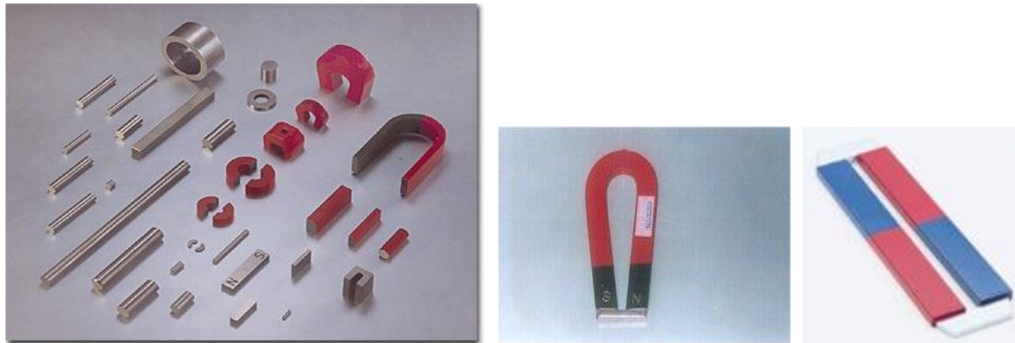
Características importantes dos imãs permanentes:

1. <u>Resistência mecânica a choques</u>
2. <u>Efeito do Calor</u>: acima de uma certa temperatura (dita "temperatura de Curie"), a interação de longo alcance que caracteriza os materiais ferromagnéticos é perdida). Para o ferro, por exemplo, a Temp. de Curie é de 1043 K, ou 770 ^{o}C.
3. <u>Efeito da Umidade:</u> corrosão
4. <u>Efeito de campos desmagnetizantes</u>: assim como magnetizamos um material colocando-o em um campo externo, podemos desmagnetizá-lo se o campo externo for oposto. Vimos na aula passada que essa propriedade é chamada "coercitividade" do imã (o campo que desmagnetiza o material). Esse efeito é particularmente importante na hora de armazenar os imãs (deve-se evitar, por exemplo, guardar imãs com pólos de mesmo nome perto um do outro)

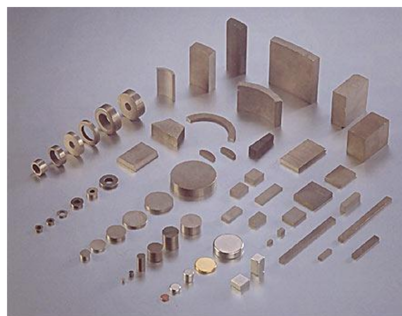
Tipos de imãs permanentes:



1. **Imãs de cerâmica e ferrite**: são encontrados em imãs de geladeira, auto-falantes, etc. Seu campo não é muito intenso pois têm baixa remanência (0,39 T) e são mecanicamente frágeis, pois quebram-se com facilidade. Os seus pólos dependem do tipo de geometria: nas barras retas ou em forma de “U” os pólos estão nas extremidades; nos anelares estão nas faces opostas; nos imãs de geladeira estão em faixas justapostas (NSNSNS....). As temperaturas de Curie são da ordem de 460 ^{o}C, acima dos regimes de trabalho em que esses imãs são empregados. São resistentes à corrosão e razoavelmente resistentes a campos desmagnetizantes (sua coercitividade é 0,32 T).



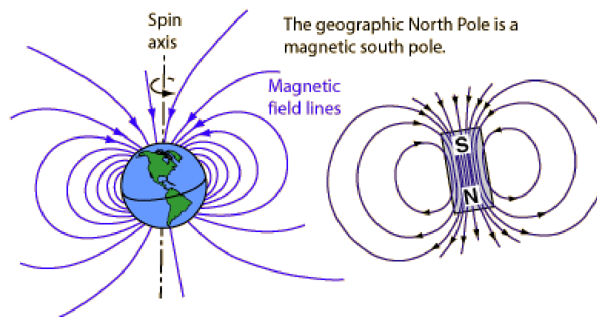
2. **Imãs de Alnico** (liga metálica formada de 10 % de Alumínio, 20 % de Níquel, e 15% de Cobalto, mais Ferro, Cobre e um pouco de Titânio): são os imãs mais comuns em laboratórios didáticos, pois têm alta remanência (1,25 T). Têm a vantagem de não serem mecanicamente frágeis (resistem bem a impactos). Sua temperatura de Curie é da ordem de 860 ^{o}C. Como defeito são extremamente fáceis de desmagnetizar (coercitividade de apenas 0,064 T). Para evitar isso, deve-se evitar colocá-los próximos a imãs de ferrite-cerâmica, e deve-se guardá-los com pólos de nomes diferentes próximos um do outro. Imãs na forma de ferraduras devem ter um pedaço de metal unindo os pólos.



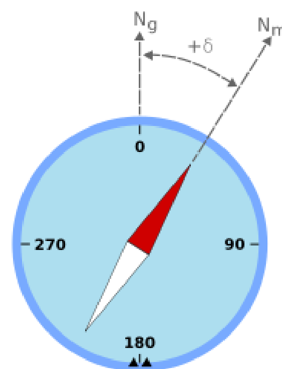
3. **Imãs de Samário-Cobalto**: usados em pequenos motores para vídeo-cassete ou reprodutores de CD e DVD, pois seu campo é intenso (remanência de 1,05 T). São frágeis a impactos, com baixa temperatura de Curie (750 ^oC). Ao contrário do Alnico não são facilmente desmagnetizáveis (coercitividade de 0,92 T).

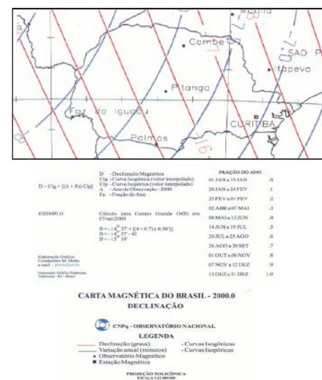


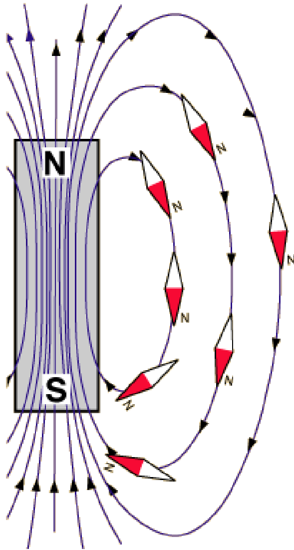
4. **Imãs de Neodímio-Ferro-Boro**: são imãs com campo magnético extremamente alto (remanência de 1,28 T), usados em fones de ouvido, drives de disco e mesmo brinquedos! Por outro lado são frágeis, sofrem facilmente corrosão e têm temperatura de Curie muito baixa (310 ^oC): por isso mesmo não podem ser usados em motores. No entanto, são muito resistentes à desmagnetização (coercitividade de 0,32 T). Como regra geral, no armazenamento de imãs, devemos colocar classes diferentes bem afastadas umas das outras.



A bússola e o campo magnético da Terra: as correntes elétricas no interior metálico e fundido da Terra criam (efeito dínamo) um campo magnético. Atualmente o pólo Norte do campo magnético terrestre está próximo ao pólo sul geográfico e vice-versa. Em qualquer ponto da terra, o ângulo entre o pólo norte terrestre e a agulha da bússola (apontando na direção do pólo norte magnético – ver explicação abaixo) é chamado "declinação magnética" (para leste positivo, para oeste negativo). No Brasil, a declinação magnética varia entre 10° e 20°. Nos mapas, as linhas que conectam pontos de mesma declinação magnética são chamadas "isógonas". Para Curitiba, a declinação é por volta de – 13° (para oeste).



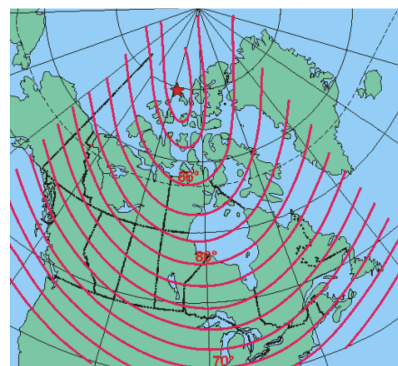




Explicação: o pólo norte de uma agulha imantada de bússola é um pólo norte magnético. Como pólos de nomes contrários se atraem, o pólo norte da agulha imantada é atraído para o pólo sul magnético da Terra, o qual está próximo ao pólo norte geográfico. Então o pólo norte da agulha aponta para uma direção próxima ao pólo norte geográfico.

Não se perca no meio do mato! Desconsiderar a declinação magnética pode fazer alguém se perder no meio de uma trilha. A declinação na região de Curitiba atualmente está por volta de -18°, o que quer dizer que, para nossa região, o norte magnético está a 18° a oeste do norte geográfico. Nossa bússola aponta para o norte magnético, um norte que estará, portanto, a 18° a oeste do norte verdadeiro. Apontamos a bússola e tomamos uma leitura, por exemplo: 68°, em relação ao norte magnético, que está a 18° a Oeste do norte geográfico. Descontamos a declinação, e acabamos com o rumo verdadeiro de 50°. Fazendo a operação inversa, onde queremos seguir num dado rumo e ajustamos este rumo na bússola para nos direcionarmos, usemos o seguinte exemplo: traçamos uma rota no mapa, e queremos seguir um rumo de 125°. Como obtivemos este rumo do mapa, ele está dado em relação ao norte geográfico. Em relação ao norte magnético, teremos se seguir 125° mais a declinação magnética de 18°, ou seja: 143°. Ajustamos 143° na bússola e observamos o rumo. A declinação magnética em Curitiba aumenta para oeste cerca de 8 minutos de arco a cada ano. Para determinar a declinação magnética de um lugar, conhecidas a sua longitude e latitude (coordenadas geográficas) pode ser consultado o site http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/Declination.jsp





Inclinação magnética: é o ângulo φ_i formado pela agulha da bússola de inclinação com um plano horizontal à superfície da Terra. Seu valor é particularmente importante na aviação, sobretudo em altas latitudes. As curvas que ligam pontos de mesma inclinação magnética são chamadas isóclinas. Nos pólos magnéticos a inclinação magnética é de 90°, enquanto no equador magnético é nula. A componente vertical do campo magnético aponta para cima e para baixo, respectivamente, em latitudes magnéticas sul e norte, respectivamente (em relação ao equador magnético).

Problema resolvido: Na cidade de Tucson (Arizona, EUA) a inclinação magnética é de 59°. Sabendo-se que a componente horizontal do campo magnético terrestre vale 26 μT, calcule: (a) a componente vertical do campo; (b) o módulo do campo resultante.

Solução: (a) considerando a decomposição em componentes vertical e horizontal

$B_v = B_h \, tg \, \varphi_i = 26 \times tg \, 59^o = 43 \, \mu T$

(b) $B = \sqrt{B_h^2 + B_v^2} = \sqrt{26^2 + 43^2} = 50 \, \mu T$

Problema proposto: Na cidade de Pittsburgh (Massachussets, EUA) a declinação e a inclinação magnéticas valem -15° e 72°, respectivamente. Sabe-se que o módulo do campo magnético vale 61 μT. Ache as componentes horizontal e vertical. Resposta: 19 μT e 58 μT (para baixo).